

## Czy kablowanie sieci SN wymusza zmianę sposobu pracy punktu neutralnego w tych sieciach?

**Streszczenie.** W ramach artykułu zbadano prawdziwość tezy, która zakłada, że coraz bardziej powszechne kablowanie sieci SN wymusza na operatorze systemu dystrybucyjnego zmianę sposobu pracy punktu neutralnego tych sieci, co z kolei prowadzi do konieczności zmian nastaw, czy wręcz kryteriów wykrywania zwarcí doziemnych w tych sieciach. Analizę przeprowadzono na bazie pomiarów prowadzonych w punktach neutralnych w kilku stacjach GPZ w latach 2020 – 2024.

**Abstract.** The article investigated the veracity of the thesis that the increasingly widespread cabling of MV networks forces the Distribution System Operator to change the operation of the neutral point of these networks, which in turn leads to the need to change the settings or even the criteria for detecting ground faults in these networks. The analysis was carried out on the basis of measurements made at neutral points at several stations from 2020 to 2024. **Does the cabling of MV networks force a change in the way the neutral point works on these networks?**

**Słowa kluczowe:** sieci SN, punkt neutralny, zwarcia doziemne, automatyka zabezpieczeniowa.

**Keywords:** MV networks, neutral point, ground faults, protection automation.

### Wstęp

W literaturze przedmiotu można spotkać różne sposoby podziału sieci elektroenergetycznych. Jedną z metod klasyfikacji jest podział ze względu na sposób pracy punktu neutralnego [1]:

1. Dla napięcia 0,4 kV stosuje się pracę ze skutecznie uziemionym punktem neutralnym sieci, tj. co najmniej jeden z punktów gwiazdowych uzwojeń transformatora połączony jest z ziemią.
2. W przedziale napięć 6-60 kV sieć może pracować z:
  - izolowanym punktem neutralnym, tj. żaden pkt. gwiazdowy uzwojeń transformatorów nie ma galwanicznego połączenia z ziemią,
  - uziemionym punktem neutralnym przez reaktancję (dławiki),
  - uziemionym punktem neutralnym przez rezystancję (rezystory).
3. W przedziale napięć 110-750 kV stosuje się skutecznie uziemiony punkt neutralny sieci, tj. co najmniej jeden z punktów gwiazdowych uzwojeń transformatora połączony jest z ziemią.

Na potrzeby analizy postawiono tezę, że intensywne kablowanie sieci SN może wymuszać na operatorze systemu dystrybucyjnego zmianę sposobu pracy punktu neutralnego tych sieci. Słuszność tej tezy zostanie zweryfikowana na podstawie analiz, które przeprowadzono na bazie pomiarów prowadzonych w punktach neutralnych w kilku stacjach GPZ, w których po stronie SN były wykonane prace związane z kablowaniem. Analizę przeprowadzono w oparciu o dane PGE Dystrybucja S.A. Oddział Lublin z lat 2020-2024. Oparto ją także o założenia sformułowane przez Tauron S.A w opracowaniu [2]. Według tych założeń przy wyborze sposobu pracy punktu neutralnego sieci SN należy brać pod uwagę następujące czynniki [2]:

- wymagany poziom ochrony przed porażeniem i poziom przepięć w stacjach SN/nn oraz wzdłuż trasy linii SN,
- skuteczne i selektywne wyłączenie zwarcí doziemnych,
- planowany rozwój sieci,
- koszty inwestycji i eksploatacji,
- ciągłość zasilania (rezerwowanie),
- ograniczenie rozmiarów uszkodzeń, zwłaszcza kabli i maszyn wirujących,

- zagrożenie uszkodzenia żył powrotnych kabli w sieciach o skłonnościach do powstawania zwarcí podwójnych,
- aktualny stan ochrony przed porażeniem w istniejącej sieci SN podlegającej zmianom konfiguracji przy wprowadzeniu zmiany sposobu pracy punktu neutralnego.

Kluczowe jest tu skuteczne i selektywne wyłączenie zwarcí doziemnych [3]. Selektywność i skuteczność są zapewniane poprzez stosowanie nowoczesnych zabezpieczeń cyfrowych [4], [5]. Ma to również bezpośrednie przełożenie na poziom ochrony przed porażeniami [6].

Ze względów ekonomicznych niezwykle ważne jest zbudowanie właściwej strategii rozwoju sieci elektroenergetycznej [7] ze szczególnym uwzględnieniem funkcjonowania automatyki zabezpieczeniowej, a więc pośrednio z właściwym zaprojektowaniem układu pracy punktu neutralnego [8]. Istotną rolę mogą odegrać tu zarówno symulacje [9] jak też doświadczenia wynikające z pomiarów na rzeczywistych obiektach energetycznych.

### Sieć z izolowanym punktem neutralnym

Z izolowanym punktem neutralnym pracują sieci SN o natężeniu prądu zwarcia doziemnego nieprzekraczającym granicznych wartości prądów pojemnościowych, przy których łuk elektryczny w miejscu zwarcia doziemnego może zgasnąć samoistnie.

Dla sieci kablowych i kablowo-napowietrznych (z przewagą linii kablowych) jest to 50 A bez względu na wartość napięcia znamionowego, dla sieci napowietrznych i napowietrzno-kablowych (z przewagą linii napowietrznych) jest to odpowiednio dla wartości napięć [1]:

- 3-6 kV: 30A,
- 10 kV: 20A,
- 15-20 kV: 15A,
- 30 – 40 kV: 10A,
- 60 kV: 5 A.

Sieci tego typu, czyli sieci pracujące z izolowanym punktem neutralnym, nie występują na terenie będącym w operatorstwie PGE Dystrybucja Oddział Lublin.

Tabela 1. Wyniki pomiarów przeprowadzonych w latach 2020 – 2024 w stacjach wyposażonych w dławiki nadążne

2020									
Nazwa Stacji	Napięcie kompensacji kV	Prądy pojemnościowe							
		Sekcja I (III)				Sekcja II (IV)			
		Prąd zmierzony A	zakres prądowy A	aktywny zaczepek A	% rozstr. sieci	Prąd zmierzony A	zakres prądowy A	aktywny zaczepek A	% rozstr. sieci
Dęblin	15	182	23 - 230			150	90 - 180	I - 180	20%
Klementowice	15	18	18 - 180			96	18 - 180		
Wisznice	15	45,5	30 - 60	I - 60	31,80%	34	20 - 40	I - 40	17,6%
Wólka Dobryńska	15	259	34 - 340			97,7	90 - 180	IV - 113	15,70%
Lubartów	15	S.1 - 109 S.3 - 91	26 - 260			S.2 - 123 S.4 - 130	26 - 260		
Ostrów Lub.	15								
2024									
Nazwa Stacji	Napięcie kompensacji kV	Prądy pojemnościowe							
		Sekcja I / Sekcja III				Sekcja II / Sekcja IV			
		Prąd zmierzony A	zakres prądowy A	aktywny zaczepek	% rozstr. sieci	Prąd zmierzony A	zakres prądowy A	aktywny zaczepek A	% rozstr. sieci
Dęblin	15	175	23 - 230			150	90 - 180	I - 180	20%
Klementowice	15	35	18 - 180			42	18 - 180		
Wisznice	15	120	24 - 240			128	24 - 240		
Wólka Dobryńska	15	300,6	34 - 340			101	90 - 180	II - 135	33,60%
Lubartów	15	111	26 - 260			97	s.2 26 - 260		
Ostrów Lub.	15	54	34 - 340			34	34 - 340		

Tabela 2. Nastawy i wyniki pomiarów przeprowadzonych w latach 2020 – 2024 dla sieci skompensowanej przez dławiki ze szczelina powietrzna

2020									
Nazwa Stacji	Napięcie kompensacji kV	Prądy pojemnościowe							
		Sekcja I (III)				Sekcja II (IV)			
		Prąd zmierzony A	zakres prądowy A	aktywny zaczepek A	% rozstr. sieci	Prąd zmierzony A	zakres prądowy A	aktywny zaczepek A	% rozstr. sieci
Kazimierz	15	33	20 - 40	I - 40	21,20%	34,4	30 - 60	III - 45	30,8%
Opole Lub.	15	63,2	60 - 120	IV - 75	18,70%	49,4	40 - 80	III - 60	21,4%
Puławy Kępa	15	125	90 - 180	III - 135	8,00%	107,6	60 - 120	I - 120	11,5%
Puławy Rudy	15	91	90 - 180	IV - 113	24,17%	188,7	34 - 340		
Ryki	15	106,7	60 - 120	I - 120	12,5%	120,1	60 - 120	I - 120	12,6%
Garbów	15	37,7	20 - 40	I - 40	6,1%	72,5	60 - 120	I - 90	-24%
Bronowice	15	96,8	60 - 120	I - 120	23,96%				
Nałęczów	15	41	30 - 60	III - 45	9,80%	57	12 - 120		
Bełżyce	15	142,2	90 - 180	II - 158	11,1%	65	40 - 80	II - 70	7,7%
Chruślina	15								
2024									
Nazwa Stacji	Napięcie kompensacji kV	Prądy pojemnościowe							
		Sekcja I / Sekcja III				Sekcja II / Sekcja IV			
		Prąd zmierzony A	zakres prądowy A	aktywny zaczepek A	% rozstr. sieci	Prąd zmierzony A	zakres prądowy A	aktywny zaczepek A	% rozstr. sieci
Kazimierz	15	28	20 - 40	II - 35	25%	34	30 - 60	III - 45	32%
Opole Lub.	15	120	60 - 120	II - 105	-12,50%	48	40 - 80	I - 80	67,0%
Puławy Kępa	15	124	90 - 180	III - 135	8,9%	103	60 - 120	I - 120	16,5%
Puławy Rudy	15	89,2	90 - 180	IV - 113	26,7%	239	34 - 340		
Ryki	15	148	90 - 180	II - 158	6,8%	121	90 - 180	III - 150	24,0%
Garbów	15	37,5	20 - 40	I - 40	6,6%	79	60 - 120	III - 90	14%
Bronowice	15	101	60 - 120	I - 120	18,80%				
Nałęczów	15	35,3	30 - 60	III - 45	27,5%	87	12 - 120		
Bełżyce	15	149	90 - 180	I - 180	20,8%	70	60 - 120	IV - 75	7%
Chruślina	15	58	32 - 320			35	32 - 320		

Tab. 3. Nastawy w latach 2020 – 2024 dla sieci z punktem neutralnym uziemionym przez rezystancję

2020									
Nazwa Stacji	Napięcie kompensacji kV	Zakres prądowy S.1 A	aktywny zaczepek S.1	Zakres prądowy S.2	aktywny zaczepek S.2	Zakres prądowy S.3	aktywny zaczepek S.3	Zakres prądowy S.4	aktywny zaczepek S.4
			Ω	A	Ω	A	Ω	A	Ω
Dziesiąta	15	250	36	250	36	-	-	-	-
Elektrownia	15	250	36	250	36	250	36	250	36
Śródmieście	15	60	90	250	36	250	36	250	36
UMCS	15	250	36	250	36	250	36	250	36
Wschód	15	150	60,6	150	60,6	-	-	-	-
2024									
Nazwa Stacji	Napięcie kompensacji kV	Zakres prądowy S.1 A	aktywny zaczepek S.1	Zakres prądowy S.2	aktywny zaczepek S.2	Zakres prądowy S.3	aktywny zaczepek S.3	Zakres prądowy S.4	aktywny zaczepek S.4
			Ω	A	Ω	A	Ω	A	Ω
Dziesiąta	15	250	36	250	36	-	-	-	-
Elektrownia	15	250	36	250	36	250	36	250	36
Śródmieście	15	250	36	250	36	250	36	250	36
UMCS	15	250	36	250	36	250	36	250	36
Wschód	15	150	60,6	150	60,6	-	-	-	-

## Sieć z punktem neutralnym uziemionym przez reaktancję

W sieciach napowietrznych i napowietrzno-kablowych, w których wartość prądu doziemnego przekracza przytoczone powyżej wartości, w celu ograniczenia skutków działania prądu zwarciovego, kompensuje się pojemnościowy prąd ziemnozwarciowy prądem indukcyjnym. Wykorzystywane jest tu zjawisko rezonansu prądowego pomiędzy pojemnością sieci i reaktancją indukcyjną przyłączoną do punktu neutralnego sieci. W tym celu stosuje się olejowe dławiki ze szczeliną powietrzną oraz tzw. dławiki nadążne, które charakteryzują się możliwością zmiany wartości indukcyjności dostosowaną do pojemności sieci związanej z jej aktualną konfiguracją [1].

W sieciach SN będących w operatywnym kierownictwie PGE Dystrybucja Oddział Lublin kompensację, czyli uziemienie punktów neutralnych przez reaktancję stosuje się w przypadku sieci napowietrznych wykorzystując w tym celu zarówno dławiki nadążne, jak i dławiki ze szczeliną powietrzną. W tabelach poniżej przedstawiono wykaz stacji na terenie PGE Dystrybucja Oddział Lublin wyposażonych w dławiki nadążne (Tab.1), dławiki ze szczeliną powietrzną (Tab.2).

Dane zaprezentowane w (Tab. 1) i (Tab. 2) obrazują sposób podejścia do problemu zwarc doziemnych przez OSD w związku z pracami modernizacyjnymi sieci oraz zmianami charakteru punktów odbioru. W artykule przytoczono dane z roku 2020 i 2024. Oczywiście pomiary i analizy prowadzone są w okresach minimum jednorocznych, ale wobec niewielkiej zmienności badanych obiektów przytoczono jedynie dane z początku i końca badanego okresu. Zarówno dla stacji wyposażonych w dławiki nadążne jak i dla stacji kompensowanych przez dławiki ze szczeliną powietrzną mierzone są prądy zwarcia (Tab. 1), (Tab. 2). W przypadku obiektów z regulacją nadążną dla przypadków, gdy wynik pomiaru jest mniejszy niż zadany parametr nie jest liczony procent rozstrojenia sieci i nie są podejmowane żadne działania. W przypadku, gdy zmierzony prąd mieści się w ustawionym zakresie, ale nie przekracza granicy górnej oblicza się procent rozstrojenia i w przypadkach koniecznych zmienia się zaczepek. W analizowanym okresie problem dotyczył stacji Wisznice, Dęblin i Wólka Dobryńska. Oczywiście regulacja przyniosła właściwy efekt i nie ma konieczności zmiany sposobu pracy punktu neutralnego. Nieco inne podejście obserwujemy dla sieci kompensowanej przez dławiki ze szczeliną powietrzną. Tu każdorazowo obliczany jest poziom rozstrojenia. Zalecane jest aby prąd zmierzony mieścił się w zakresie prądowym i w analizowanych przypadkach nie wymagał istotnych korekt. Niemniej jednak % rozstrojenia sieci powinien zawierać się pomiędzy -5% a 15%. Reasumując oczywiście wymagana jest regulacja nastaw dławików, a zmiana prądów zwarciovych implikuje zmianę nastaw zabezpieczeń, ale w analizowanych przypadkach nie wykracza poza zakresy regulacyjne zastosowanych rozwiązań.

## Sieć z punktem neutralnym uziemionym przez rezystancję

Wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną oraz związany z tym wzrost mocy przesyłanej przez linie elektroenergetyczne wymusza na operatorach sieci dystrybucyjnych modernizację ciągów przesyłowych. Linie napowietrzne wymieniają się na linie kablowe, co wiąże się z ogólnym wzrostem stopnia skablowania sieci. Powoduje to wzrost doziemnego prądu pojemnościowego. W przypadku takich sieci stosuje się układ z trwale uziemionym przez rezystor punktem neutralnym [1].

W (Tab. 3) przedstawiono wykaz stacji na terenie PGE Dystrybucja Oddział Lublin pracujących z trwale uziemionym przez rezystor punktem neutralnym.

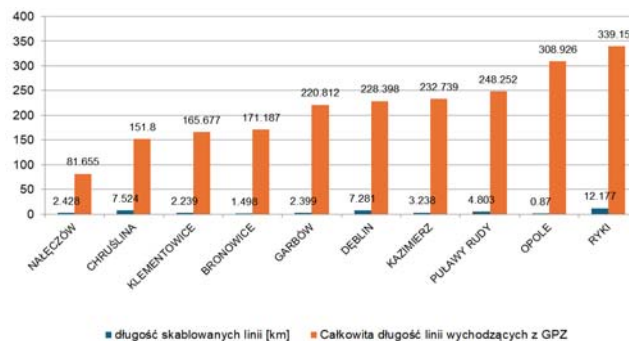
W przypadku sieci z punktem neutralnym uziemionym przez rezystancję nie obserwujemy w latach 2020 – 2024 istotnych zmian parametrów sieci. Nie ma znaczących zmian w charakterze odbiorów w długości, jak i poziomie skablowania sieci. Tak więc w tym przypadku nie obserwujemy konieczności zmian nastawień zabezpieczeń.

Tab. 4. Poziom kablownia w latach 2020 – 2023 sieci na wybranych przykładach

NAZWA stacji WN/SN	długość skablowanych linii [km]	Całkowita długość linii wychodzących z GPZ
NAŁĘCZÓW	2,4	81,7
CHRUŚLINA	7,5	151,8
KLEMENTOWICE	2,2	165,7
BRONOWICE	1,4	171,2
GARBÓW	2,4	220,8
DĘBLIN	7,3	228,4
KAZIMIERZ	3,2	232,7
PULAWY RUDY	4,8	248,3
OPOLE	0,9	308,9
RYKI	12,2	339,2

## Analiza poziomu kablownia linii napowietrznych vs całkowita długość linii napowietrznych w km

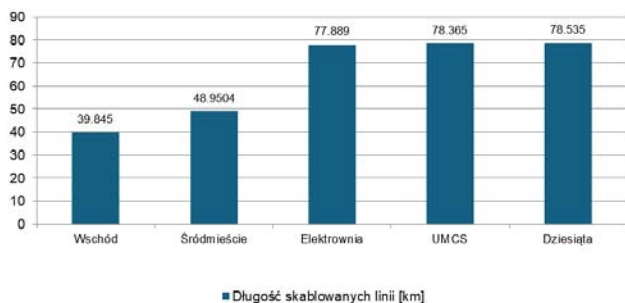
Poziom kablownia sieci napowietrznych na obszarach cechujących się długimi i bardzo długimi odcinkami linii jest relatywnie niewielki. Kablownia dotyczy jedynie odcinków przebiegających w obszarach leśnych oraz w terenach, gdzie wpływ przyrody na ciągłość linii jest istotny. Poziom kablownia linii na omawianych przykładach zaprezentowano w tabeli (Tab. 4).



Rys. 1. Długość linii skablowanych w latach 2020 – 2023 wychodzących z GPZ na obszarach z dominacją linii napowietrznych vs całkowita długość linii [km]

Dane dotyczące kablownia analizowanych obszarów zamieszczono na wykresie (Rys. 1). Wykres obrazuje niewielką skalę kablownia w stosunku do całkowitej długości linii. W zestawieniu z poziomem długości linii w obszarach o dużym poziomie urbanizacji (Rys. 2) są to długości znaczące, ale dla linii długich w terenach o niskim poziomie urbanizacji stanowią wciąż niewielki udział i w związku z tym nie powodują konieczności zmiany sposobu pracy punktu neutralnego.

Dane dotyczące kablownia analizowanych obszarów zamieszczono na wykresie (Rys. 1). Wykres obrazuje niewielką skalę kablownia w stosunku do całkowitej długości linii. W zestawieniu z poziomem długości linii w obszarach o dużym poziomie urbanizacji (Rys. 2) są to długości znaczące, ale dla linii długich w terenach o niskim poziomie urbanizacji stanowią wciąż niewielki udział i w związku z tym nie powodują konieczności zmiany sposobu pracy punktu neutralnego.



Rys. 2. Długości linii wychodzących z GPZ na obszarach z przewagą linii kablowych w terenie z wysokim poziomem urbanizacji [km]

Wizualizacja poziomu skablowania linii na obszarze z przewagą terenu z wysokim poziomem urbanizacji została przedstawiona na poniższym rysunku (Rys. 2). Należy tutaj zauważyć, że linie kablowe na obszarach miejskich są z definicji relatywnie krótkie i stanowią około 90% całej długości linii. Ważne jest również, że dodatkowy proces kablowania polega wyłącznie na dobudowie nowych bardzo krótkich odcinków linii, które nie mają żadnego wpływu na sposób pracy punktu neutralnego.

### Podsumowanie

W praktyce sposób pracy punktu neutralnego jest określany na etapie projektowania stacji GPZ. W obszarach miejskich, gdzie jest przewaga linii kablowych stosuje się rozwiązanie z punktem neutralnym uziemionym przez rezystancję. W opracowaniu przytoczono stacje z obszaru miasta Lublin, na terenie którego przeważają linie kablowe (Rys. 2). Na podstawie pomiarów prądu zwarcia ustala się zakres prądowy poprzez nastawienie odpowiedniego zaczepek. W badanym okresie, tj. w latach 2020 – 2024 można zaobserwować, że parametry rezystora, z wyjątkiem stacji Śródmieście, nie wymagały korekty. W przypadku sieci z przewagą linii napowietrznych stosuje się rozwiązanie z punktem neutralnym uziemionym przez reaktancję (Rys. 1). W części obiektów stosowane jest rozwiązanie wymagające nastawy na określony zaczepek. W analizowanym okresie, tj. w latach 2020 – 2024 istotne zmiany nastaw zostały przeprowadzone w stacjach Kazimierz, Opole Lubelskie, Ryki oraz Bełżyce. Zmiany te były podyktowane zmianą charakteru i wielkości odbiorów. Przy kablowaniu na poziomie kilku do kilkunastu kilometrów nowej sieci nie obserwuje się istotnego wpływu kablowania na wartości prądów pojemnościowych, nie ma więc konieczności zmiany sposobu pracy punktu neutralnego tych sieci (Rys. 1). Przy wykorzystaniu dławików ze szczeliną powietrzną obserwujemy stosunkowo wysoki procent rozstrojenia sieci, w niektórych przypadkach przekraczający wartość 25%.

Reasumując takie podejście gwarantuje zachowanie wymaganego poziomu ochrony przed porażeniami i przepięciami w stacjach SN/nn oraz wzdłuż trasy linii SN. Ponadto uwzględnia planowany rozwój sieci, ogranicza rozmiary uszkodzeń w przypadku zwarć doziemnych oraz zapewnia skuteczne i selektywne wyłączanie zwarć doziemnych. Aktualny stan ochrony przed porażeniem w istniejącej sieci SN podlegającej kablowaniu na tym etapie nie wymagał zmiany sposobu pracy punktu neutralnego. Wracając do pytania zadanego w tytule artykułu należy stwierdzić jednoznacznie, że intensywne kablowanie sieci napowietrznych, w związku z charakterem tych sieci, tj. zmianą charakteru z indukcyjnego na pojemnościowy, wymusiłby zmianę sposobu pracy punktu neutralnego. Biorąc jednak pod uwagę poziom planowanego kablowania, który z punktu widzenia utrzymania sieci napowietrznych ogranicza się jedynie do terenów newralgicznych,

kablowanie nie ma istotnego wpływu na pojemność linii. Wynika to z faktu, że udział linii kablowych pozostaje wciąż niewielki (Rys. 1). Na obszarach, które z założenia są silnie zurbanizowane od początku eksploatacji realizowany jest sposób pracy punktu neutralnego przez rezystancję (Rys. 2). Analizując powyższe dane wniosek jest zgodny z doktryną ekonomiczną OSD polegającą na projektowaniu istotnych obiektów elektroenergetycznych jakimi są stacje GPZ w wariancie docelowym struktury linii:

- dla linii długich z przewagą linii napowietrznych z zabezpieczeniem miejsc newralgicznych utrzymaniu odcinkami kablowymi,
- dla linii krótkich w terenie silnie zurbanizowanym przy pomocy linii kablowych.

Reasumując właściwe projektowanie stacji GPZ w perspektywie długoterminowej nie wymusza przebudowy sposobu pracy punktu neutralnego sieci. Niemniej jednak złożoność problemu oraz możliwe negatywne skutki niekontrolowanego wzrostu prądów ziemnozwarciowych powoduje konieczność cyklicznego badania skuteczności zastosowanych rozwiązań oraz reakcji na zaobserwowane problemy poprzez regulację kompensatorów, a w związku ze zmianą wartości prądów zwarciovych również nastaw zabezpieczeń.

**Autorzy:** mgr inż. Justyna Kowalska, Szkoła Doktorska Politechniki Lubelskiej, Nadbystrzycka 38a, 20-618 Lublin, E-mail: justyna.kowalska@pollub.edu.pl; dr hab. inż. Piotr Miller, Politechnika Lubelska, Katedra Elektroenergetyki, Nadbystrzycka 38a, 20-618 Lublin, E-mail: p.miller@pollub.pl;

### LITERATURA

- [1] Borkiewicz K., Automatyka zabezpieczeniowa regulacyjna i łączeniowa w systemie elektroenergetycznym, ZIAD Bielsko Biała SA, 2000.
- [2] Standard techniczny nr 43/2023 - praca punktu neutralnego w sieci SN w Tauron Dystrybucja S.A., Kraków 2023 w: <https://www.tauron-dystrybucja.pl/uslugi-dystrybucyjne/standardy-techniczne-sieci/ksiega-standardow-technicznych> dostęp: 25.03.2023
- [3] Walczak K., Zawodniak J.J., Ochrona przed wewnętrznymi przepięciami w sieciach SN – podstawy teoretyczne, w: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/view/1347617> (indexcopernicus.com) dostęp: 25.03.2024
- [4] Hoppel W., Sieci średniego napięcia. Automatyka zabezpieczeniowa i ochrona od porażenia, Wydawnictwo naukowo techniczne, Warszawa 2017
- [5] Kubacki S., Kompleksowa automatyzacja i monitorowanie sieci SN kluczowym elementem poprawy niezawodności i ciągłości dostaw energii w: <https://actaenergetica.org/index.php/journal/article/view/237> dostęp: 25.03.2024
- [6] Sajewicz D., Radziszewski M., Aktualne potrzeby eksploatacyjne sieci i urządzeń SN – nowe zadania zespołów automatyki zabezpieczeniowej, Seminarium szkoleniowe ELSEP 2018, w: <https://elektrometal-energetyka.pl/wp-content/uploads/2021/02/Aktualne-potrzeby-eksploatacyjne-sieci-i-urzadzen-SN.pdf> dostęp 25.03.2024
- [7] Marzecki J., Strategia rozwoju terenowych sieci elektroenergetycznych niskiego i średniego napięcia, Energetyka, 2007, [https://www.cire.pl/pliki/2/strategia\\_sieci.pdf](https://www.cire.pl/pliki/2/strategia_sieci.pdf)
- [8] Hoppel W., Lorenc J., Ogólna ocena sposobu pracy punktu neutralnego sieci średnich napięć, 2007, w: <http://www.alpines.home.pl/p/elektrotechnika/pktneutralne.pdf> dostęp: 24.03.2024
- [9] Łowczowski K., Symulacja zjawisk ziemnozwarciowych w sieci SN uziemionej przez układ równoległy, w: <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element/baztech-481dc9cc-0f55-4917-9eba-3070c52e9c19> dostęp: 25.03.2024